第38卷 第4期
2021年7月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 4
Jul. 2021

FY-2F云量产品在新疆区域的评估及检验

李 帅[1]， 陈勇航[1]， 侯小刚[2]， 王军海[3]， 胥志德[4]

（1. 东华大学环境科学与工程学院，上海 201620；2. 北京邮电大学网络技术研究院，北京 100876；
3. 乌鲁木齐气象卫星地面站，新疆 乌鲁木齐 830001；4. 天津宜捷海特通用航空服务有限公司，天津 300000）

摘 要：利用2015-06—2016-05月新疆区域地面观测的总云量小时数据，对比分析了FY-2F/CTA与地面观测云量的相关性和一致性，开展了FY-2F云量产品在新疆区域的分析检验。结果表明：(1) FY-2F/CTA与地面人工观测总云量的相关性较好，天山以北区域(含天山山区)冬季除外。(2) FY-2F/CTA与地面人工观测总云量的一致率为51.5%，南北疆差别不大，均是夏、秋季较高，但天山以北区域冬季较低，南疆春季较低；卫星反演总云量整体比地面观测值偏低，即呈高偏弱率低偏强率分布，南疆区域偏低最为明显。(3) 不同云量等级下，一致率与总云量呈反比，即晴天、少云状况下的一致率较高，多云、阴天条件下的一致率较低。(4) 沙尘会降低FY-2F/CTA判识的一致率，增大其偏弱率，但是对于有、无云的判识影响不大。本研究考虑了不同季节、不同云量等级以及有无沙尘影响，对FY-2F/CTA产品进行了评估，研究结果为干旱区总云量的卫星反演及应用提供了重要参考。

关键词：FY-2F；不同云量等级；沙尘影响；总云量；检验；新疆

云是表征天气气候特点的重要要素之一，它通过辐射强迫、潜热强迫和对流强迫三个机制影响大气运动状态和地球气候[1]。云量是其中一个非常重要的因素，总云量及其变化趋势会直接或间接影响到利用云的宏微观参数、辐射参数、水汽和降水、气溶胶等物理量开展的气候变化、天气或气候模式等研究[2-5]。因此，准确了解总云量的空间分布和时间演变，是开展大气辐射、能量和水循环、气候分析和数值模式等研究的基础，对深入了解云和地气系统之间的相互复杂作用，进而更好地认识气候变化具有十分重要的意义[6-7]。

目前，地面常规观测和卫星遥感反演总云量，包括国际卫星云气候计划ISCCP总云量、中分辨率成像光谱仪MODIS总云量、NOAA系列总云量及云雷达卫星CloudSat总云量等，是使用较多的总云量数据，被广泛应用于云量的气候学特征分析[8-9]、卫星反演验证[10-11]和气候模拟云量验证[12]等，尤其是卫星反演的云参数[13]通常与云雷达、激光雷达、光谱成像仪以及地面观测的相比较[14]。许多专家在总云量产品的检验评价方面已开展了大量的研究。如Werkmeister等[15]比较了AVHRR、SRVURI和地面人工以及全天空成像仪(HSI)观测的云量数据发现，卫星观测日平均偏差较小，晴天状态下观测效果较好，且卫星观测空间分辨率对其有一定影响；刘瑞霞等[16]认为，相对常规观测1月ISCCP总云量精度优于MODIS，而7月MODIS总云量略优于ISCCP；王旻燕等[17]认为，对于中国区域而言，ISCCPD2总云量产品的观测结果比地面观测偏高8.46%，华南地区差异最小、东北地区差异最大；刘健等[18]认为，NOAA/AVHRR总云量产品能较好地反映中国总云量的变化特征，但总体比站点观测总云量略偏低。此外，部分专家在国产FY-2系列卫星总云量产品的开发和验证方面做了大量研究，李娅[19]、刘健[20]等认为FY-2F卫星观测云产品相对地面人工观测偏低，也略小于MODIS计算的总云量，但总体趋势相当；韩永清等[21]发现华北和黄淮区域FY-2E总云量产品的数值较地面观测总云量的数值明显偏小；席琳等[22]认为在40 °N以北地区，由FY-2和GMS静止气象卫星建立的东亚地区气候数据集反演的总云量在量值上高于地面观测值。关

收稿日期：2021-01-22； **修订日期：**2021-02-25
基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金(2017D01B54)资助
作者简介：李帅(1982-)，女，副研究员，主要从事遥感技术与应用. E-mail: rainlishuai@163.com
通讯作者：陈勇航. E-mail: yonghangchen@126.com

于新疆地区云的研究工作较少[23-24],仅有部分学者对新疆云特征进行了分析,如冯建东等[25]利用CloudSat资料分析了新疆山区不同类型云高特征;张萍等[26]分析了新疆三大山区云的垂直分布特征,认为高云云顶高度差别不大,但是低云云底差别较大。

新疆水资源短缺,云作为人工增水作业的一项重要参数,对判断降水能力等具有重要指示意义;卫星观测总云量资料更适于揭示大范围的云气候特征,在站点稀少的高原、荒漠、海洋等资料缺乏地区具有绝对优势,新疆地广人稀,地基常规观测站点空间覆盖率极低,更适宜于卫星观测总云量资料的使用;自2014年1月1日起全国地面气象观测业务调整工作,一般站取消云量、云高、云状观测,基准站、基本站保留白天云量、云高观测,取消云状观测,使传统的云观测数据有所减少,如何利用卫星观测补充地面观测,成为亟需解决的问题;开展卫星反演云量的精度评估是业务应用的基础,也是充分发挥卫星观测效益的前提。FY-2F是我国自主研制的第四颗静止卫星,可提供每隔半小时一次观测数据,能够对云的生成、发展和消亡全过程作更好的监测。本文以新疆为检验区域,利用常规观测总云量数据,对比分析了新疆各区域FY-2F云量产品与地面观测云量,以期为FY-2云产品的应用与研究提供有价值的参考。

1 研究区域、数据及方法

1.1 研究区域

新疆区域(图1)属典型干旱和半干旱大陆性气候,水资源短缺已成为社会经济与生态建设发展的"瓶颈"问题,全疆年均降水量仅150 mm左右,为全国平均年降水量648 mm的23%,通过人工增水作业增加云水资源的开发利用是缓解新疆水资源短缺的有效途径之一。新疆山区约占全疆总面积的40%,年平均总云量空间分布总体呈现"东部少,西部多;南疆少,北疆多;平原和盆地少,山区多"的格局[27]。

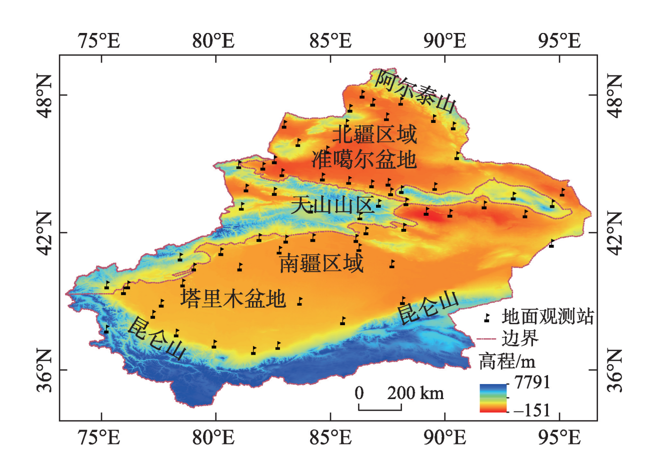


图1 新疆区域地形及总云量地面观测站点分布示意图

Fig. 1 Overview of the geographic location and topography of Xinjiang

1.2 研究资料

本文所使用的资料主要包括:从新疆维吾自治区信息中心获取的2015-06-01—2016-05-30新疆66个地面观测站人工观测的总云量小时数据;从国家卫星气象中心数据服务网(http://satellite.nsmc.org.cn/portalsite/default.aspx)定制的2015-06-01—2016-05-30 FY-2F/CTA产品,其空间分辨率为0.1°×0.1°,时间分辨率为1 h。

1.3 研究方法

FY-2F/CTA通过式(1)反演推算得到,即通过计算某一个像元的晴空辐射值和完全云盖辐射值,然后根据某一时刻该像元的实际辐射值,使用辐射公式计算得出[20]。

$$A_C = (I - I_{clr})/(I - I_{cld}) \tag{1}$$

式中:A_C为总云量;I_{clr}为有云像元的辐射量;I_{cld}为晴空像元的辐射量。

具体数据处理方法为:将2015-06-01—2016-05-30 FY-2F/CTA小时产品进行拼接、投影、重采样、裁剪等处理,其中,投影方式采用的是墨卡托投影,重采样选用的是最邻近法;选择与卫星观测时间匹配的地面观测数据,其次通过地面观测站点的空间分布,剔除异常观测,且选择有20 d以上连续观测的站点,对地面观测进行初步质量控制;根据观测站点的时间、经纬度信息提取出卫星云量数据,将站点观测云量与卫星云量进行匹配。

FY-2F/CTA产品的一致性分析,是以卫星云产品与实测总云量之差的绝对值≤2为正确,则一致率*CR*、偏强率*SR*及偏弱率*WR*可表示为式(2)~(4):

$$CR = \frac{NR_k}{NR_k + NS_k + NW_k} \times 100\% \tag{2}$$

$$SR = \frac{NS_k}{NR_k + NS_k + NW_k} \times 100\% \tag{3}$$

$$WR = \frac{NW_k}{NR_k + NS_k + NW_k} \times 100\% \tag{4}$$

式中: NR_k 表示一个站点在检验时段内参与检验的所有时次中总云量反演正确的时次数; NS_k 表示偏强次数; NW_k 表示偏弱次数。

2 结果与分析

2.1 新疆区域总云量的分布差异

图2为FY-2F/CTA监测的新疆各区域总云量的月变化,可以看出,新疆区域总云量1—8月整体呈下降趋势,9—12月呈上升趋势,11月至次年2月云资源较充沛,其总云量平均值为43.5%,比全年平均值37.7%高9.8%。其中,天山以北区域(含天山山区)云资源较为充沛,南疆区域相对匮乏。北疆地区总云量1月最多,可达66.3%,8月最少,仅为24.3%;10月至次年2月云水资源较充沛,其总云量平均值为52.6%,比全年平均值42.4%高10.2%。天山山区年内总云量总体变化不大,其总云量平均值为37.9%,其中,1月最多,可达47.3%;8月最少,其值为31.4%。南疆区域总云量平均值为33.0%,最高值出现在12月,为39.8%;最低值出现在1月,为24.6%。南北疆、天山山区在不同季节的云量分布上存在一定的差异,因此,FY-2F/CTA与地面观测总云量的对比检验中,将从新疆不同区域、不同季节等方面开展。

2.2 FY-2F/CTA与地面观测总云量的相关性分析

图3是不同季节新疆区域FY-2F/CTA与地面人工观测总云量变化散点图显示,夏、秋季节二者的相关性最好,冬季相关性最差,且除冬季外,均通过了0.01的显著性检验;FY-2F/CTA的总云量值总体低于地面人工观测值,在春季偏小的程度最大。这与韩永清等[21]开展的华北和黄淮区域的检验结果一致,即FY-2反演的总云量与地面观测的总云量相关系数5月最大,为0.92;1月最小,为0.56。

从表1可以看出,天山以北区域(含天山山区)二者的相关性较好,相关系数基本都在0.8以上,但冬季除外,冬季北疆地区仅为0.466,天山山区为0.529。这主要是由于冬季天山以北区域下垫面被积雪覆盖,FY-2反演云量产品过程中,冰雪下垫面有较高的反射率和较低的地表温度,两者差异较小,使得冰雪与云区分比较困难,尤其是在夜间,没有可见光通道数据的情况下将更难识别。因此,冬季冰雪下垫面FY-2F/CTA与地面人工观测总云量的相关性较差。南疆区域则各季节差异不大,夏、秋季略高,冬、春季稍低,春季较低可能与南疆地区春季沙尘暴多发有关;冬季南疆除山区有稳定积雪外,沙漠及周边区域都属于无稳定积雪区域,之所以

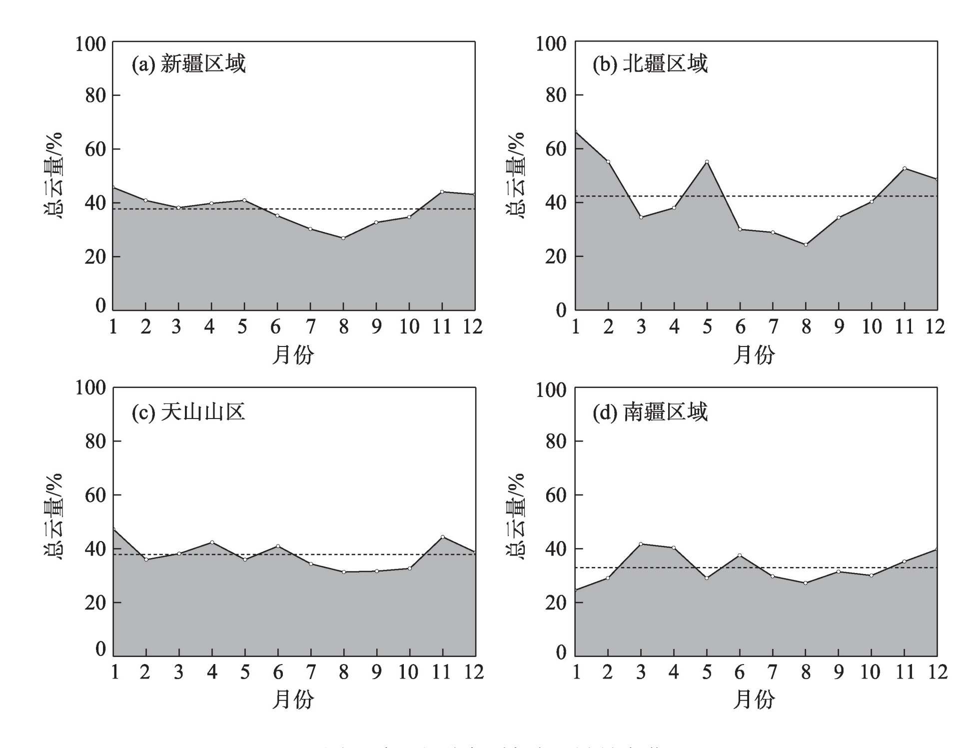


图2 新疆不同区域总云量月变化

Fig. 2 Monthly variation of total cloud cover in different regions of Xinjiang

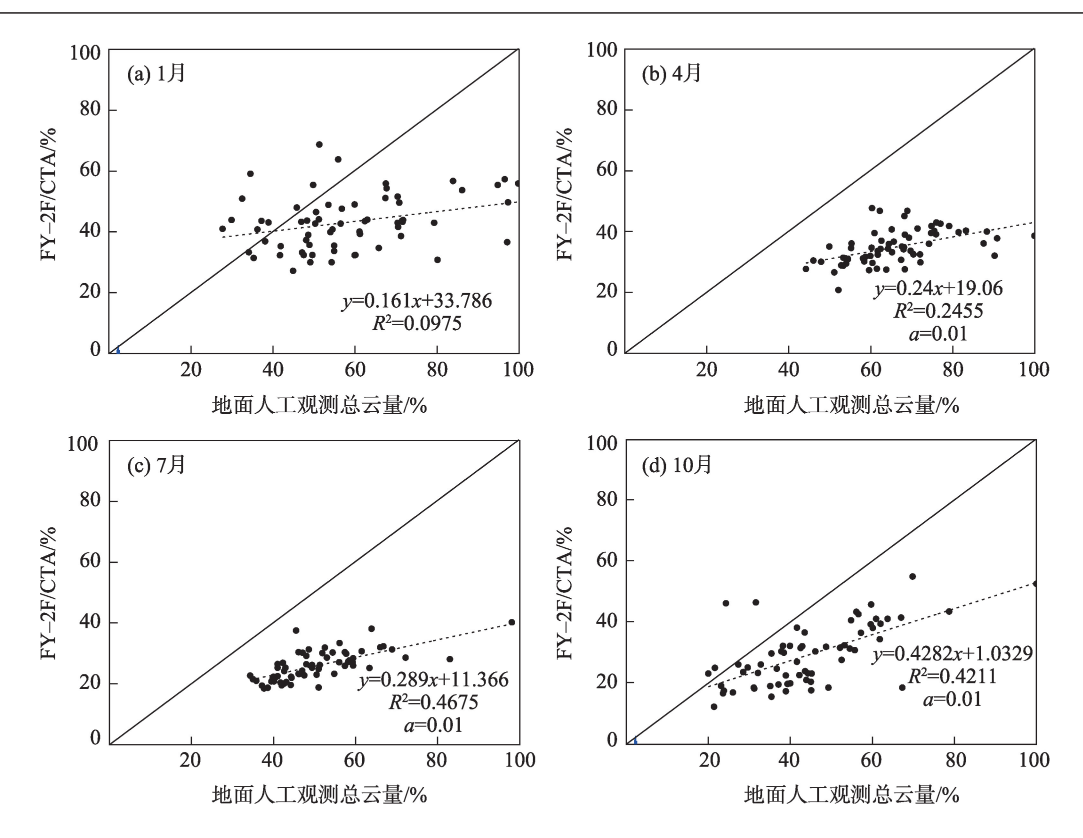


图3 新疆区域FY-2F/CTA与地面人工观测总云量变化

Fig. 3 Total cloud cover scatter plot of FY-2F/CTA and manual observed in Xinjiang region

表1 新疆各区域不同季节FY-2F/CTA与地面人工观测总云量相关性

Tab. 1 Correlation between FY-2F/CTA and manual observed total cloud cover in different seasons and region of Xinjiang

	拟合方程(北疆地区)	R	拟合方程(天山山区)	R	拟合方程(南疆地区)	R
春季	y=2.744+1.011x	0.830**	y=1.005+1.320x	0.793*	y=2.978+0.947x	0.788*
夏季	y=1.305+1.313x	0.899**	y=0.969+1.392x	0.830**	y=2.151+1.207x	0.861**
秋季	y=1.582+1.137x	0.843**	y=1.042+1.215x	0.761*	y=1.224+1.206x	0.832**
冬季	y=2.557+0.690x	0.466	y=0.445+0.990x	0.529	y=2.406+0.883x	0.737*

注:**表示α=0.01水平上显著,*表示α=0.05水平上显著(双侧检验)。

二者相关性略低可能是受到地表温度较低的影响。

2.3 FY-2F/CTA与地面观测总云量的一致性分析

2.3.1 不同季节的一致性对比分析 由图4可以看出,新疆区域FY-2F/CTA产品判识的一致率南北疆及天山山区的差别不大,年均值维持在51.5%左右。7月、10月较高,分别为52.0%、67.1%;1月、4月较低,分别为50.2%、45.3%,且4月由中部向南北区域降低,7月由北向南增高。这可能主要是由于地表温度较高时,与云顶温度差异越大,且新疆夏秋季云资源较少,晴天居多,因此7月、10月判识效果较好;1月天山以北区域及南疆部分山区被积雪覆盖,且冬春季云资源相对比较丰富,因此1月FY-2F/CTA相对地面人工观测的一致率较低,可能与云雪误判有关。

FY-2F/CTA卫星观测总云量整体比地面人工观测值偏低,均呈现出高偏弱率、低偏强率的状况,其中,南疆区域偏低的最为明显,偏弱率最高,天山山区偏高的最为明显,偏强率最高。FY-2F/CTA产品是利用辐射值计算某一视场中的云量,考虑了云的发射率,解决了部分亚像元云的问题,但是计算得到的有效云量值偏小;卫星对高云的探测能力比低云的更强,低云较接近地面,且云体少变,卫星云检测算法的结果容易将低云误判为地表,就会低估云量,而塔里木盆地主要以层积云为主[27],因此偏弱率远高于偏强率。这与NOAA/AVHRR的总云量产品相同,与MODIS/Aqua总云量产品相反,研究表

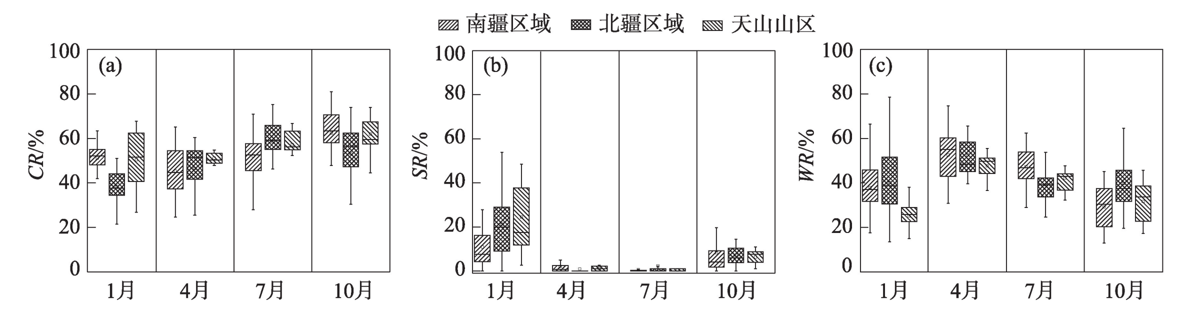


图4　新疆不同季节FY-2F/CTA相对地面人工观测的一致性对比

Fig. 4　Consistency box plot of FY-2F/CTA products and manual observed cloud cover in different season of Xinjiang

明,NOAA/AVHRR计算的总云量全年小于站点观测总云量,MODIS/Aqua总云量产品具有整体偏大的特征,FY-2反演云量总体小于MODIS/Aqua反演云量[20]。

2.3.2　不同云量等级下的一致性对比分析　参考天气预报中云量等级定义以及韩永清等[21]对云量的分级,结合资料,以地面人工观测云量为标准,定义总云量0~1成为晴天,2~3成为少云,4~7成为多云,8~10成为阴天。检验了不同云量等级下FY-2卫星云产品相对地面人工观测的一致性(图5)。可以看出,总体而言,新疆区域FY-2F/CTA产品的总体一致率则与地面观测总云量呈反比,即少云>晴天>阴

图5　新疆不同云量等级下FY-2F/CTA相对地面人工观测的一致性空间分布示意图

Fig. 5　Consistency spatial distribution map of FY-2F/CTA under different cloud cover levels in Xinjiang

天>多云，分别为82.2%、76.6%、34.1%及30.3%，即云覆盖率越高，FY-2F/CTA产品相对地面人工观测的一致率越低；且不同云量等级下，均表现出高偏弱率、低偏强率的状况，偏强率随着实况总云量的增加而降低，即晴天>少云>多云>阴天，分别为23.4%、11.0%、3.9%及0.4%；偏弱率则与之相反，随着实况云量的增加而增加，即多云>阴天>少云>晴天，分别为65.8%、65.5%、6.7%及0.01%。晴天状况下，FY-2/CTA产品一致率由中部向南北增加，即南疆区域的一致率均最高；少云、多云及阴天状况下，FY-2/CTA产品的一致率则是由中部向南北降低，即天山山区的一致率最高。在新疆区域，晴天及少云条件下的一致率优于全国均值63%[19]、华北及黄淮地区60%左右[21]。

2.3.3 沙尘影响下FY-2F/CTA与地面观测的一致性分析 随着季节的更替变换，新疆大部分区域的下垫面类型也随之发生变化，由春、夏季的植被、到秋季的裸地、冬季的积雪。研究表明，塔克拉玛干沙漠的沙尘天气频发，主要发生在春、夏季，占全部沙尘次数的88.3%，冬季是全年发生沙尘天气最少的季节，仅占总数的2.3%[28]；且沙漠区1月无稳定积雪，四季下垫面变化不大。为了减小下垫面变化的影响，只研究沙尘对于云判识的影响，因此，选择塔中及且末的1月作为无沙尘影响期，4月作为沙尘影响期，分析了FY-2F/CTA与地面观测总云量的一致性(图6)。沙尘会降低FY-2F/CTA判识的一致率，降低率为15%左右，且沙尘期偏弱率远高于非沙尘期，偏强率低于非沙尘期。这可能是由于沙尘期间主要以低云为主，而卫星对低云的探测能力比高云的探测能力差，因此沙尘期的偏弱率远高于非沙尘期；且沙尘暴发生时，常伴有降水，因此沙尘天气对于有、无云的判识影响不大；但由于天空状况不明，能见度较差，因此沙尘天气对于云量大小的判识有较大影响。

3 结 论

利用卫星资料对总云量进行反演，弥补了传统总云量观测的不足，为许多研究工作提供了宝贵的基础资料，但是卫星观测的总云量，在由卫星接收的辐射值到总云量的计算过程中，受定标、定位、云检测等很多算法精度的限制，以及下垫面类型、地表温度、天气状况等的影响，引入偏差是难以避免的。本文以新疆为检验区域，利用常规观测总云量数据，计算分析了不同季节、不同云量等级以及有无沙尘影响下FY-2F/CTA产品相对地面人工观测的3个评价指数(*CR*、*SR*、*WR*)，对二者的相关性及一致性指标进行检验和评估，得出以下结论：

(1) 新疆区域FY-2F/CTA产品与地面人工观测的相关性较好，各季节的相关系数均在0.8左右，但天山以北区域(含天山山区)冬季除外，可能是受到下垫面被积雪覆盖的影响；南疆区域各季节差异不大，夏、秋季略高，冬、春季稍低，春季可能与南疆地区春季沙尘暴多发有关，冬季可能是受到地表温度较低的影响。

(2) FY-2F/CTA与地面人工观测总云量的一致率为51.5%，南北疆差别不大，均是夏、秋季较高，但天山以北区域冬季较低，南疆春季较低；卫星反演总云量整体比地面观测值偏低，即呈高偏弱率低偏强率分布，南疆区域偏低最为明显。

(3) 不同云量等级下，一致率与总云量呈反比，即晴天、少云状况下的一致率较高，多云、阴天条件下的一致率较低，且均呈出高偏弱率、低偏强率分

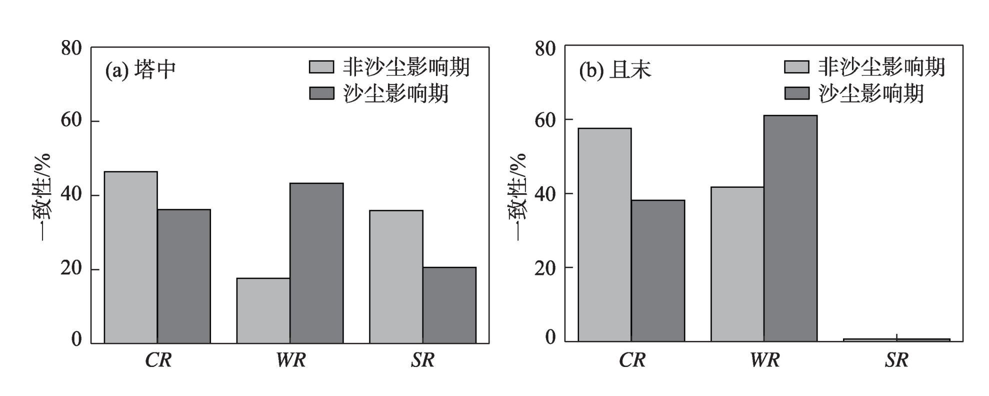


图6 沙尘及无沙尘影响期间FY-2F/CTA相对地面人工观测的一致性对比

Fig. 6 Consistency of FY-2F/CTA products and manual observed total cloud cover in dust and no dust effect period of Xinjiang

布。其中,晴天状况下,一致率由中部向南北增加,即南疆区域的一致率最高;少云、多云及阴天状况下,一致率由中部向南北降低,即天山山区的一致率最高。

（4）沙尘会降低FY-2F/CTA判识的一致率,但是对于有、无云的判识影响不大。

参考文献(References):

[1] 王帅辉, 韩志刚, 姚志刚. 基于CloudSat和ISCCP资料的中国及周边地区云量分布的对比分析[J]. 大气科学, 2010, 34(4): 767-779. [Wang Shuaihui, Han Zhigang, Yao Zhigang. Comparis on of cloud amounts from ISCCP and CloudSat over China and its neighborhood[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2010, 34(4): 767-779.]

[2] Yu H, Kaufman Y J, Chin M, et al. A review of measurement based assessments of the aerosol direct radiative effect and forcing [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, 6(11): 613-666.

[3] Stephens G S, Kummerow G D. The remote sensing of clouds and precipitation from space: A review[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2007, 64(11): 3742-3765.

[4] 吴伟, 王式功. 中国北方云量变化趋势及其与区域气候的关系[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 651-658. [Wu Wei, Wang Shigong. Tendency change of cloud cover over northern China and its relation with regional climate[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(3): 651-658.]

[5] 杨冰韵, 吴晓京, 郭徵. 基于CloudSat资料的中国地区深对流云物理特征研究[J]. 高原气象, 2017, 36(6): 1655-1664. [Yang Bingyun, Wu Xiaojing, Guo Zheng. The characteristics of cloud properties in deep convective clouds across China with the CloudSat dataset[J]. Plateau Meteorology, 2017, 36(6): 1655-1664.]

[6] Webb M J, Senior C A, Sexton D M H, et al. On the contribution of local feedback mechanisms to the range of climate sensitivity in two GCM ensembles[J]. Climate Dynamics, 2006, 27(7): 17-38.

[7] Ronald M Errico, George Ohring, Weng Fuzhong, et al. Assimilation of satellite cloud and precipitation observations in numerical weather prediction models: Introduction to the J A S special collection[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2007, 64(11): 3737-3741.

[8] 丁守国, 石广玉, 赵春生. 利用ISCCP D2资料分析近20年全球不同云类云量的变化及其对气候可能的影响[J]. 科学通报, 2004, 49(11): 1105-1111. [Ding Shouguo, Shi Guangyu, Zhao Chunsheng. Analyzing global trends of different cloud types and the their potential impacts on climate by using the ISCCP D2 dataset [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(11): 1105-1111.]

[9] 杜川利, 余兴, 李星敏, 等. 过去60年中国秦岭地区云量变化及原因分析[J]. 高原气象, 2012, 31(5): 446-455. [Du Chuanli, Yu Xing, Li Xingmin, et al. Analysis on cloudiness change in Qinling Mountain Region and its possible reason in past 60 years[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(5): 446-455.]

[10] 杜亮亮, 李江萍, 陈晓燕, 等. 2001—2011年青藏高原东北边坡地带云水资源分析[J]. 干旱区研究, 2012, 29(5): 862-869. [Du Liangliang, Li Jiangping, Chen Xiaoyan, et al. Analysis on cloud and vapor flux in the northeast of the Qinghai-Tibet Plateau during the period from 2001 to 2011[J]. Arid Zone Research, 2012, 29 (5): 862-869.]

[11] 薛小宁, 邓小波, 刘贵华. 基于卫星资料的青藏高原卷云特性研究[J]. 高原气象, 2018, 37(2): 505-513. [Xue Xiaoning, Deng Xiaobo, Liu Guihua. Study on characteristics of Qinghai-Tibetan Plateau cirrus based on satellite data[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(2): 505-513.]

[12] 王洪强, 陈勇航, 彭宽军, 等. 基于Aqua卫星总云量资料分析山区云水资源[J]. 自然资源学报, 2011, 26(1): 89-96. [Wang Hongqiang, Chen Yonghang, Peng Kuanjun, et al. Study on cloud water resources of mountain ranges in Xinjiang based on Aqua satellite data[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(1): 89-96.]

[13] 张小娟, 王军, 黄观, 等. 新疆3大山区云中液态水时空分布特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(4): 846-854. [Zhang Xiaojuan, Wang Jun, Huang Guan, et al. Spatiotemporal distribution of cloud liquid water volume over three main mountains in Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2018, 35(4): 846-854.]

[14] Kotarba A Z. A comparison of MODIS-derived cloud amount with visual surface observations[J]. Atmospheric Research, 2009, 92 (4): 522-530.

[15] Werkmeister A, Lockhoff M, Schrempf M, et al. Comparing satellite to ground-based automated and manual cloud coverage observations: A case study[J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2015, 8(5): 2001-2015.

[16] 刘瑞霞, 陈洪滨, 郑照军, 等. 总云量产品在中国区域的分析检验[J]. 应用气象学报, 2009, 20(5): 571-578. [Liu Ruixia, Chen Hongbin, Zheng Zhaojun, et al. Analysis and validation of total cloud amount data in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(5): 571-578.]

[17] 王旻燕, 王伯民. ISCCP产品和我国地面观测总云量差异[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 411-418. [Wang Minyan, Wang Bomin. Total cloud amount difference between ISCCP product and ground observation over China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(4): 411-418.]

[18] 刘健, 杨晓峰, 崔鹏. NOAA卫星2007年总云量数据精度评估[J]. 高原气象, 2016, 35(4): 1027-1038. [Liu Jian, Yang Xiaofeng, Cui Peng. Validation of total cloud amount in 2007 derived by NOAA/AVHRR[J]. Plateau Meteorology, 2016, 35(4): 1027-1038.]

[19] 李娅, 郭建侠, 曹云昌, 等. FY-2G云量产品与地面观测云量对比分析[J]. 高原气象, 2018, 37(2): 514-523. [Li Ya, Guo Jianxia, Cao Yunchang, et al. Compare and analyze FY-2G cloud products to ground-based manual observed cloud amount[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(2): 514-523.]

[20] 刘健, 崔鹏, 肖萌. FY-2G卫星冬夏云量产品偏差分析[J]. 应用气象学报, 2017, 28(2): 77-188. [Liu Jian, Cui Peng, Xiao Meng. The bias analysis of FY-2G cloud fraction in summer and winter [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2017, 28(2): 77-188.]

[21] 韩永清, 丛春华. FY-2E总云量产品在华北和黄淮区域的分析检验[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(5): 153-158. [Han Yongqin, Cong Chunhua. Analysis and validation of FY- 2E total cloud amount productions in north China and Huanghuai area[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2015, 31(5): 153-158.]

[22] 席琳, 师春香, 赵笔峰, 等. 1995—2010年静止卫星云量数据检验和评价[J]. 气象科技, 2013, 41(1): 8-14. [Xi Lin, Shi Chunxiang, Zhao Bifeng, et al. Validation and evaluation of cloud amount by geostationary satellite from 1995 to 2010[J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(1): 8-14.]

[23] 彭宽军, 陈勇航, 王文彩, 等. 新疆山区低层云水资源时空分布特征[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 653-659. [Peng Kuanjun, Chen Yonghang, Wang Wencai, et al. Characteristics of spatial and temporal distribution of lower layer cloud water resources in Xinjiang mountain regions[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(5): 653-659.]

[24] 刘岩, 马骁骏, 李浩, 等. 基于CloudSat和Aqua卫星资料的北疆一次暴雪过程中云的宏微观物理属性[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(2): 9-15. [Liu Yan, Ma Xiaojun, Li Hao, et al. Cloud macro and micro physical properties during a snowstorm based on CloudSat and Aqua satellite data[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2015, 9(2): 9-15.]

[25] 冯建东, 武志婷, 彭宽军, 等. 基于CloudSat卫星资料的新疆三大山区不同类型云高特征研究[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 310-317. [Feng Jiandong, Wu Zhiting, Peng Kuanjun, et al. Variations in the heights of different clouds over three major mountains in Xinjiang based on CloudSat observation[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(2): 310-317.]

[26] 张萍, 彭宽军, 陈勇航, 等. 新疆三大山区云的垂直分布特征初探[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2090-2098. [Zhang Ping, Peng Kuanjun, Chen Yonghang, et al. A preliminary study of vertical distribution of clouds over three major mountains in Xingjiang[J]. Resource Since, 2011, 33(11): 2090-2098.]

[27] 李帅, 侯小刚, 崔宇, 等. 基于FY-2F资料的新疆区域云系特征研究[J]. 高原气象, 2019, 38(3): 617-624. [Li Shuai, Hou Xiaogang, Cui Yu, et al. Research on cloud characteristics in Xinjiang region based on FY- 2F satellite data[J]. Plateau Meteorology, 2019, 38(3): 617-624.]

[28] 周成龙, 杨兴华, 钟昕洁, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘天气特征[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2): 324-329. [Zhou Chenglong, Yang Xinghua, Zhong Xinjie, et al. Dust weather in hinterland of the Taklamakan desert[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 324-329.]

Evaluation of FY-2F satellite cloud products in Xinjiang

LI Shuai[1], CHEN Yonghang[1], HOU Xiaogang[2], WANG Junhai[3], XU Zhide[4]

(1. College of Evironmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Institute of Network Technology, Beijing University of Postsand Telecommunications, Beijing 100876, China; 3. Urumqi Meteorological Satellite Surface Station, Urumqi 830001, Xinjiang, China; 4. ExecuJet Haite Aviation Services China Co., Ltd, Tianjin 300000, China)

Abstract: Clouds are an important element of weather and climate characteristics: they affect atmospheric movement and the earth's climate through three mechanisms: radiative forcing, latent heat forcing, and convective forcing. Cloud is also an important parameter of artificial water augmentation, which is of substantial significance to judge precipitation capacity. Total cloud products from satellite observation are suitable for revealing large-scale climate characteristics, and they have advantages in the plateau, desert, ocean, and other areas where data are scarce. Xinjiang is part of the arid area of Northwest China, where weather stations are sparsely distributed and the types of underlying surface are complex. Therefore, it is suited to the use of total cloud cover products inversed from satellite. However, the retrieval of the amount total cloud from satellite data in arid areas with complex underlying surfaces is a challenging task. Based on the hourly data of total cloud cover observed by ground observation stations from June 2015 to May 2016, we compared and evaluated the correlation and consistency between the FY-2F/CTA products and manually observed total cloud cover in Xinjiang region. We found that FY-2F/CTA correlates with the total cloud cover observed on the ground, except in winter in the area north of Tianshan Mountains, including Tianshan Mountains. Additionally, the consistency rate of FY-2F/CTA products in Xinjiang region was 51.5%, and there was little difference in cloud cover among the three regions of Xinjiang, which is higher in summer and autumn but lower in winter in the northern of Tianshan Mountains and lower in spring in southern Xinjiang. The amount of total cloud inverted from satellite data was generally lower than that observed by ground observation stations, especially in southern Xinjiang. Under different cloud cover levels, the consistency rate was inversely proportional to the total cloud cover: the consistency rate was higher under sunny and partly cloudy conditions and lower under cloudy and overcast conditions. Dust reduced the consistency rate of FY-2F/CTA, increased the strong rate, but it has little effect on the identification of cloud and non-cloud. This study provides an important reference for satellite retrieval and the application of total cloud cover in arid areas.

Keyword: FY-2F; different cloud cover levels; impact of dust; total cloud cover; evaluation; Xinjiang